



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113236366 A

(43) 申请公布日 2021.08.10

(21) 申请号 202110711040.7

(22) 申请日 2021.06.25

(71) 申请人 中国矿业大学

地址 221116 江苏省徐州市铜山区大学路1号中国矿业大学

(72) 发明人 翟成 丛钰洲 徐吉钊 孙勇  
李宇杰 唐伟 郑仰峰 朱薪宇

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所  
(普通合伙) 32249

代理人 张联群

(51) Int. Cl.

E21F 17/18 (2006.01)

E21F 17/00 (2006.01)

H04W 4/80 (2018.01)

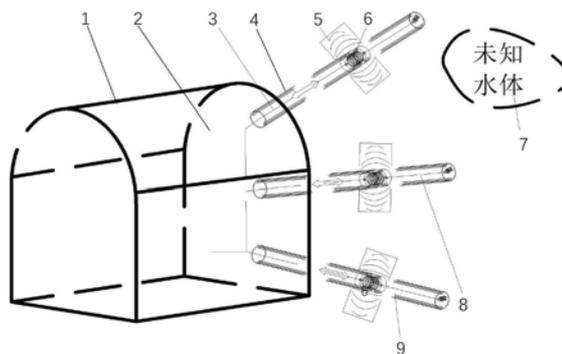
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种水害风险低场核磁共振立体监测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,适用于城市地下空间或隧道施工过程中突水、突泥等水害预警及隧道开通后运行中位移沉降及可见风险的全生命周期三维立体监测与预警。施工阶段首先在地下空间或隧道施工掌子面钻取不同角度的钻孔并获得岩心,得到围岩的岩性并判断前方有无构造带;向钻孔内送入低场核磁共振微缩传感器进行测量,利用获得的核磁水信号及围岩岩性,构建诱发水害的预警阈值和安全评估准则。地下空间或隧道施工完成后,布置四周钻孔并预埋低场低场核磁共振微缩传感器,配合巡检摄像头及光纤应变传感器,利用5G信号对四周围岩内水的空间分布、位移沉降及可见风险进行实时监测,有效保障了隧道的安全运行。



1. 一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,其特征在于包括如下步骤:

a. 在城市地下空间或隧道(1)支护成型后,在钻机向掌子面(2)施工前进方向不同角度施工超前的上向监测钻孔(3)、横向监测钻孔(8)和下向监测钻孔(9),为核磁监测提供通道,同时分别对各孔不同深度位置钻取岩心;

b. 根据各钻孔内获得的不同深度的岩心测量围岩强度、类型、含水率、孔隙度得到围岩的岩性,并判断前方有无构造带,及判断前方构造带分布如富水断层破碎带和岩溶发育带;

c. 在上向监测钻孔(3)、横向监测钻孔(8)和下向监测钻孔(9)内埋入装有低场核磁共振微缩传感器(6)的无磁钢管(4),通过低场核磁共振微缩传感器(6)在无磁钢管内前后滑动释放核磁信号磁场对各钻孔内每隔1米进行测量;

d. 在城市地下空间或隧道(1)施工的过程中,利用三个不同角度钻孔内的低场核磁共振微缩传感器(6)分别对三个钻孔位置周围岩层基质内的水信号进行监测,若核磁信号急剧增大或呈梯度增大时进行预警,并对该监测钻孔区域空间,集中实施“疏水-注浆-监测”三位一体技术手段,实现钻孔区域施工中潜在水缘性灾害的有效防治;

e. 城市地下空间或隧道(1)施工完成后,利用钻机向城市地下空间或隧道内施工的缝隙钻进,间隔施工多组钻孔(10),每组钻孔为四个,上下左右分布,沿城市地下空间或隧道(1)方向间隔均匀布置;

f. 在每组城市地下空间或隧道(1)施工的钻孔(10)内埋入装有低场核磁共振微缩传感器(6)的无磁钢管(4),并在城市地下空间或隧道(1)内的顶部吊轨(11)上安装对隧道内可见风险进行识别的移动式监控摄像机(12),所有钻孔(10)内的各低场核磁共振微缩传感器(6)均通过数据传输线(13)连接5G信号传输设备(14),利用5G信号传输设备(14)采集地下空间或隧道(1)四周的信息,并及时将采集到的信息数据反馈到监控中心,对城市地下空间或隧道(1)运行过程中围岩内水的空间分布、位移沉降及其他可见风险进行实时监测,有效保障隧道全生命周期内的安全运行。

2. 根据权利要求1所述的一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,其特征在于:所述在上向监测钻孔(3)、横向监测钻孔(8)、下向监测钻孔(9)内每隔1米分别钻取的岩心直径约为50mm,长度约为50mm,利用岩心取样器进行原位保压,且每一钻孔地层所采集的岩心数量不少于8个。

3. 根据权利要求2所述的一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,其特征在于:所述的岩心取样器的材质为无机非金属材料PMMR,最大耐温为150℃,压力为70MPa。

4. 根据权利要求1所述的一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,其特征在于:所述的上向监测钻孔(3)、横向监测钻孔(8)和下向监测钻孔(9)以掌子端面为基线所对应的倾角分别为45°、90°和135°,且钻孔深度均不小于15m。

5. 根据权利要求1所述的一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,其特征在于:所述的低场核磁共振微缩传感器(6)包括永磁体和线圈,最大承受温度为150℃、最大承受压力为80MPa。

6. 根据权利要求1所述的一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,其特征在于:所述的无磁钢管(4)内壁对称设有滑轨(4-1),无磁钢管(4)的端口处设有滑轮支撑底座(4-3)和固定在滑轮支撑底座(4-3)上的电动滑轮(4-2)。

7. 根据权利要求1所述的一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,其特征在于:所述

低场核磁共振微缩传感器(6)包括依次固定的第一磁体(6-3)、第二磁体(6-4)和第三磁体(6-5),第一磁体(6-3)和第三磁体(6-5)的端部分别设有固定套环(6-2),两端固定套环(6-2)连接有安装在无磁钢管(4)内的固定滑索(6-1),固定滑索(6-1)上标有刻度。

8.根据权利要求1所述的一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,其特征在于:城市地下空间或隧道施工过程中及施工完成运行时,对所有测量钻孔内每隔1米所测得的第一次核磁信号进行反演,得到该测量钻孔不同深度围岩的初始含水率 $\delta_1, \delta_2, \delta_3 \dots \delta_n$ ,其中,n代表钻孔由外向内n米处的取样点,观察初始含水率数据;

若随钻孔取样点距钻孔口深度急剧增大或呈梯度增大时进行预警,对该监测钻孔区域空间集中实施“疏水-注浆-监测”三位一体技术手段;

若未出现预警,则每隔一段时间 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n, t_n$ 代表n秒,对各钻孔内每隔1米的固定取样点处进行核磁测量,利用计算机进行计算得到围岩各固定取样点同一位置处两次取样得到的含水率差值: $\Delta\delta_{t1}, \Delta\delta_{t2}, \Delta\delta_{t3}, \dots, \Delta\delta_{tn}$ ,若含水率差值 $\Delta\delta_{t1} = \Delta\delta_{t2} = \Delta\delta_{t3} = \dots = \Delta\delta_{tn}$ ,表明岩石结构比较致密导致压力水锋线未向前运移;若含水率差值 $\Delta\delta_{t1} \neq \Delta\delta_{t2} \neq \Delta\delta_{t3} \neq \dots \neq \Delta\delta_{tn}$ ,表明岩石多尺度孔隙结构由压力水渗流填充,岩石基质内富含大量的水分,反映潜在水体内的压力水出现渗透现象;以 $\Delta\delta_t$ 为纵坐标、时间t为横坐标的曲线,当多点处的曲线斜率: $\frac{d\Delta\delta t}{dt} > 0, \frac{d\Delta\delta t}{dt}$ 表示同一取样点处两次取样得到的含水率差值随时间的变化率,且随距离呈梯度变化时进行预警,并对该监测钻孔区域空间集中实施“疏水-注浆-监测”三位一体技术手段。

9.根据权利要求1所述的一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,其特征在于:所述的无磁钢管(4)外壁上贴有能对周边岩体的沉降位移进行测量监测的光纤应变传感器。

## 一种水害风险低场核磁共振立体监测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,尤其适用于城市地下空间或隧道内突水、突泥的超前预警及隧道运行时潜在风险的实时监测与预警,属水害风险监测技术领域。

### 背景技术

[0002] 随着我国城市化进程的加快,我国基础建设中城市地下空间或隧道开发日益剧增。而在城市地下空间或隧道的建设中,因开采掘进扰动作用,地下空间或隧道周围存在一定区域的塑性破坏,诱发大量多尺度孔裂隙结构的发育,而地层水的区域性赋存可能会因安全水柱过窄造成应力集中,在压力水和地应力的双重作用下发生安全水柱断裂,地层水会沿着断裂裂隙渗流运移,从而导致地下空间或隧道内突水突泥事故的发生,造成严重的人员伤亡和经济损失。目前,对于突水突泥事故的防治,如传统渗漏探测方法难以实现整体式覆盖监测,易产生因漏检而存在安全隐患;电法和磁法探测设备庞大,操作较为复杂,工作量较大;示踪法需要进行钻孔投放示踪剂或钻孔测温,某些地区钻孔难度较大;流场法只能找到渗漏点,无法测定渗漏体在防渗体内部的分布情况;分布式光纤温度传感法所使用的光纤对应力较为敏感,在实际铺设中存在较大困难。同时,这些方法大多是采用抽检式进行探测,对于探测瞬时突水事故的超前预警缺乏时效性。

[0003] 另一方面,城市地下空间或隧道投入使用后,依然存在渗漏水病害,会造成隧道结构开裂、内部结构装修腐蚀,导致隧道内附属设备使用寿命变短、列车运行效率与安全性降低,严重时还会造成人员伤亡及财产损失。

[0004] 因此,需要开发一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,对城市地下空间或隧道施工过程中进行超前探水,并对城市地下空间或隧道投入使用过程中围岩内水的空间分布、位移沉降及其他可见风险进行实时监测,保障隧道的安全运行。

### 发明内容

[0005] 技术问题:本发明的目的是克服现有技术所存在的不足之处,提供一种科学有效、探测精度高、操作简单的一种水害风险低场核磁共振立体监测方法。

[0006] 技术方案:本发明的一种水害风险低场核磁共振立体监测方法,包括如下步骤:

[0007] a. 在城市地下空间或隧道支护成型后,在钻机向掌子面施工前进方向不同角度施工超前的上向监测钻孔、横向监测钻孔和下向监测钻孔,为核磁监测提供通道,同时分别对各孔不同深度位置钻取岩心;

[0008] b. 根据各钻孔内获得的不同深度的岩心测量围岩强度、类型、含水率、孔隙度并判断前方构造带分布如富水断层破碎带和岩溶发育带;

[0009] c. 在上向监测钻孔、横向监测钻孔和下向监测钻孔内埋入装有低场核磁共振微缩传感器的无磁钢管,通过低场核磁共振微缩传感器在无磁钢管内前后滑动释放核磁信号磁场对各钻孔内每隔1米进行测量;

[0010] d.在城市地下空间或隧道施工的过程中,利用三个不同角度钻孔内的低场核磁共振微缩传感器分别对三个钻孔位置周围岩层基质内的水信号进行监测,若核磁信号急剧增大或呈梯度增大时进行预警,并对该监测钻孔区域空间,集中实施“疏水-注浆-监测”三位一体技术手段,实现钻孔区域施工中潜在水缘性灾害的有效防治;

[0011] e.城市地下空间或隧道施工完成后,利用钻机向城市地下空间或隧道内施工的缝隙钻进,间隔施工多组钻孔,每组钻孔为四个,上下左右分布,沿城市地下空间或隧道方向间隔均匀布置;

[0012] f.在每组城市地下空间或隧道施工的钻孔内埋入装有低场核磁共振微缩传感器的无磁钢管,并在城市地下空间或隧道内的顶部吊轨上安装对隧道内可见风险进行识别的移动式监控摄像机,所有钻孔内的各低场核磁共振微缩传感器均通过数据传输线连接5G信号传输设备,利用5G信号传输设备采集地下空间或隧道四周的信息,并及时将采集到的信息数据反馈到监控中心,对城市地下空间或隧道运行过程中围岩内水的空间分布、位移沉降及其他可见风险进行实时监测,有效保障隧道全生命周期内的安全运行。

[0013] 所述在上向监测钻孔、横向监测钻孔、下向监测钻孔内每隔1米分别钻取的岩心直径约为50mm,长度约为50mm,利用岩心取样器进行原位保压,且每一钻孔地层所采集的岩心数量不少于8个。

[0014] 所述的岩心取样器的材质为无机非金属材料PMMR,最大耐温为150℃,压力为70MPa。

[0015] 所述的上向监测钻孔、横向监测钻孔和下向监测钻孔以掌子端面为基线所对应的倾角分别为45°、90°和135°,且钻孔深度均不小于15m。

[0016] 所述的低场核磁共振微缩传感器包括永磁体和线圈,最大承受温度为150℃、最大承受压力为80MPa。

[0017] 所述的无磁钢管内壁对称设有滑轨,无磁钢管的端口处设有滑轮支撑底座和固定在滑轮支撑底座上的电动滑轮。

[0018] 所述低场核磁共振微缩传感器包括依次固定的第一磁体、第二磁体和第三磁体,第一磁体和第三磁体的端部分别设有固定套环,两端固定套环连接有安装在无磁钢管内的固定滑索,固定滑索上标有刻度。

[0019] 城市地下空间或隧道施工过程中及施工完成运行时,对所有测量钻孔内每隔1米所测得的第一次核磁信号进行反演,得到该测量钻孔不同深度围岩的初始含水率 $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\delta_3$ ... $\delta_n$ ,其中,n代表钻孔由外向内n米处的取样点,观察初始含水率数据;

[0020] 若随钻孔取样点距钻孔口深度急剧增大或呈梯度增大时进行预警,对该监测钻孔区域空间集中实施“疏水-注浆-监测”三位一体技术手段;

[0021] 若未出现预警,则每隔一段时间 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、...、 $t_n$ , $t_n$ 代表n秒,对各钻孔内每隔1米的固定取样点处进行核磁测量,利用计算机进行计算得到围岩各固定取样点同一位置处两次取样得到的含水率差值: $\Delta\delta_{t_1}$ 、 $\Delta\delta_{t_2}$ 、 $\Delta\delta_{t_3}$ 、...、 $\Delta\delta_{t_n}$ ,若含水率差值 $\Delta\delta_{t_1} = \Delta\delta_{t_2} = \Delta\delta_{t_3} = \dots = \Delta\delta_{t_n}$ ,表明岩石结构比较致密导致压力水锋线未向前运移;若含水率差值 $\Delta\delta_{t_1} \neq \Delta\delta_{t_2} \neq \Delta\delta_{t_3} \neq \dots \neq \Delta\delta_{t_n}$ ,表明岩石多尺度孔隙结构由压力水渗流填充,岩石基质内富含大量的水分,反映潜在水体内的压力水出现渗透现象;以 $\Delta\delta_t$ 为纵坐标、时间t为横坐标的曲

线,当多点处的曲线斜率: $\frac{d\Delta\delta t}{dt} > 0$ ,  $\frac{d\Delta\delta t}{dt}$ 表示同一取样点处两次取样得到的含水率差值随时间的变化率,且随距离呈梯度变化时进行预警,并对该监测钻孔区域空间集中实施“疏水-注浆-监测”三位一体技术手段。

[0022] 所述的无磁钢管外壁上贴有能对周边岩体的沉降位移进行测量监测的光纤应变传感器。

[0023] 有益效果:由于采用上述技术方案,本发明通过向钻孔内送入低场核磁共振微缩传感器进行测量,利用获得的核磁水信号及围岩岩性,构建诱发水害的预警阈值和安全评估准则。地下空间或隧道施工完成后,布置四周钻孔并预埋低场低场核磁共振微缩传感器,配合巡检摄像头及光纤应变传感器,利用5G信号对四周围岩内水的空间分布、位移沉降及可见风险进行实时监测。一方面能够通过低场核磁共振微缩传感器对施工过程中城市地下空间或隧道的前方岩层潜在水源位置进行多维时空性监测,得到钻孔不同深度处围岩的强度、类型、含水率、孔隙度并判断前方构造带分布如富水断层破碎带和岩溶发育带;另一方面,通过低场核磁共振微缩传感器、光纤应变传感器和智能监控设备,结合5G传输技术,实现对隧道运行过程中围岩内水的空间分布、位移沉降及其他可见风险进行实时监测,能够有效保障隧道全生命周期内的安全运行。城市地下空间或隧道投入使用后,隧道四周钻孔分别为隧道顶部、左右两侧及底部钻孔,各钻孔内埋入无磁钢管和低场核磁共振微缩传感器,无磁钢管外部贴上光纤应变传感器,城市地下空间或隧道顶部利用移动式监控摄像机沿吊轨对隧道内其他可见风险进行识别,各传感器数据通过数据传输线与5G信号传输设备连接,并将数据实时反馈回监控中心,有效保障隧道的安全运行。该方法有着较强的科学性,探测精度高,操作简单,效果好,在本技术领域内具有广泛的实用性。

## 附图说明

[0024] 图1是本发明的城市地下空间或隧道施工阶段水害风险立体监测方法示意图。

[0025] 图2是本发明图1中的掌子面正视图钻孔布置示意图。

[0026] 图3是本发明的城市地下空间或隧道运行阶段水害风险立体监测方法示意图。

[0027] 图4是本发明图3中的四周钻孔空间结构布置示意图。

[0028] 图5是本发明图3中的无磁钢管横剖截面结构示意图。

[0029] 图6是本发明图3中的无磁钢管纵剖截面结构示意图。

[0030] 图中:1-城市地下空间或隧道;2-掌子面;3-上向监测钻孔;4-无磁钢管;4-1-滑轨;4-2- 电动滑轮;4-3-滑轮支撑底座;5-核磁信号磁场;6-低场低场核磁共振微缩传感器;6-1-固定滑索;6-2-固定套环;6-3-第一磁体;6-4-第二磁体;6-5-第三磁体;7-潜在水体;8- 横向监测钻孔;9-下向监测钻孔;10-隧道四周钻孔;11-吊轨;12-智能监控设备;13-数据传输线;14-5G信号传输设备。

[0031] 具体实施方法

[0032] 下面结合附图中的实施例对本发明作进一步的描述:

[0033] 本发明的水害风险低场核磁共振立体监测方法,首先,城市地下空间或隧道1支护成型后,通过钻机向掌子面2前方不同角度打入超前上向监测钻孔3、横向监测钻孔8、下向监测钻孔9,为核磁监测提供通道;根据钻孔内获得的不同深度的岩心测量围岩强度、类型、

含水率、孔隙度并判断前方构造带分布如富水断层破碎带和岩溶发育带信息;将低场核磁共振微缩传感器6的固定吊环6-2连接带刻度的固定滑索6-1和无磁钢管4内壁的滑轨4-1,送入上向监测钻孔3、横向监测钻孔8、下向监测钻孔9内进行测量;利用低场核磁共振微缩传感器6对不同钻孔位置周围岩层基质内的水信号进行监测,若核磁信号急剧增大或呈梯度增大时进行预警,并对该监测钻孔区域空间集中实施“疏水-注浆-监测”三位一体技术手段,实现潜在水缘性灾害的有效防治;具体步骤如下:

[0034] a. 施工城市地下空间或隧道1,当城市地下空间或隧道1支护成型后,在钻机向掌子面 2施工前进方向不同角度施工超前的上向监测钻孔3、横向监测钻孔8和下向监测钻孔9,为核磁监测提供通道,同时分别对各孔不同深度位置钻取岩心;所述在上向监测钻孔3、横向监测钻孔8、下向监测钻孔9内每隔1米分别钻取的岩心直径约为50mm,长度约为50mm,利用岩心取样器进行原位保压,且每一钻孔地层所采集的岩心数量不少于8个。所述的岩心取样器的材质为无机非金属材料PMMR,最大耐温为150℃,压力为70MPa。所述的上向监测钻孔3、横向监测钻孔8和下向监测钻孔9以掌子端面为基线所对应的倾角分别为45°、90°和135°,且钻孔深度均不小于15m。

[0035] b. 根据各钻孔内获得的不同深度的岩心测量围岩强度、类型、含水率、孔隙度并判断前方构造带分布如富水断层破碎带和岩溶发育带;

[0036] c. 在上向监测钻孔3、横向监测钻孔8和下向监测钻孔9内埋入装有低场核磁共振微缩传感器6的无磁钢管4,所述的无磁钢管4外壁上贴有光纤应变传感器,能对周边岩体的沉降位移进行测量监测,配合岩体内水的空间监测数据进行分析,进而得到更为可靠的应急方案。通过低场核磁共振微缩传感器6在无磁钢管内前后滑动释放核磁信号磁场对各钻孔内每隔1米进行测量;所述的低场核磁共振微缩传感器6包括永磁体和线圈,最大承受温度为150℃、最大承受压力为80MPa。所述的无磁钢管4内壁对称设有滑轨4-1,无磁钢管4的端口处设有滑轮支撑底座4-3和固定在滑轮支撑底座4-3上的电动滑轮4-2。所述低场核磁共振微缩传感器6包括依次固定的第一磁体6-3、第二磁体6-4和第三磁体6-5,第一磁体6-3和第三磁体6-5的端部分别设有固定套环6-2,两端固定套环6-2连接有安装在无磁钢管4内的固定滑索6-1,固定滑索6-1上标有刻度。

[0037] d. 在城市地下空间或隧道1施工的过程中,利用三个不同角度钻孔内的低场核磁共振微缩传感器6分别对三个钻孔位置周围岩层基质内的水信号进行监测,若核磁信号急剧增大或呈梯度增大时进行预警,并对该监测钻孔区域空间,集中实施“疏水-注浆-监测”三位一体技术手段,实现钻孔区域施工中潜在水缘性灾害的有效防治;

[0038] e. 当城市地下空间或隧道1施工完成后或已投入使用前,利用钻机向城市地下空间或隧道内施工的缝隙钻进,间隔施工多组钻孔10,每组钻孔为四个,上下左右分布,沿城市地下空间或隧道1方向间隔均匀布置;

[0039] f. 在每组城市地下空间或隧道1施工的钻孔10内埋入装有低场核磁共振微缩传感器6的无磁钢管4,所述的无磁钢管4外壁上贴有能对周边岩体的沉降位移进行测量监测的光纤应变传感器;在城市地下空间或隧道1内的顶部吊轨11上安装对隧道内可见风险进行识别的移动式监控摄像机12,所有钻孔10内的各低场核磁共振微缩传感器6均通过数据传输线13连接5G信号传输设备14,利用5G信号传输设备14采集地下空间或隧道1四周的信息,并及时将采集到的信息数据反馈到监控中心,对城市地下空间或隧道1运行过程中围岩

内水的空间分布、位移沉降及其他可见风险进行实时监测,有效保障隧道全生命周期内的安全运行。

[0040] 在城市地下空间或隧道1施工的过程中及施工完成运行时,对所有测量钻孔内每隔1米所测得的第一次核磁信号进行反演,得到该测量钻孔不同深度围岩的初始含水率 $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\delta_3$ ... $\delta_n$ ,其中,n代表钻孔由外向内n米处的取样点,观察初始含水率数据;

[0041] 若随钻孔取样点距钻孔口深度急剧增大或呈梯度增大时进行预警,对该监测钻孔区域空间集中实施“疏水-注浆-监测”三位一体的现有技术手段;

[0042] 若未出现预警,则每隔一段时间 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、...、 $t_n$ , $t_n$ 代表n秒,对各钻孔内每隔1米的固定取样点处进行核磁测量,利用计算机进行计算得到围岩各固定取样点同一位置处两次取样得到的含水率差值: $\Delta\delta_{t_1}$ 、 $\Delta\delta_{t_2}$ 、 $\Delta\delta_{t_3}$ 、...、 $\Delta\delta_{t_n}$ ,若含水率差值 $\Delta\delta_{t_1} = \Delta\delta_{t_2} = \Delta\delta_{t_3} = \dots = \Delta\delta_{t_n}$ ,表明岩石结构比较致密导致压力水锋线未向前运移;若含水率差值 $\Delta\delta_{t_1} \neq \Delta\delta_{t_2} \neq \Delta\delta_{t_3} \neq \dots \neq \Delta\delta_{t_n}$ ,表明岩石多尺度孔隙结构由压力水渗流填充,岩石基质内富含大量的水分,反映潜在水体中的压力水出现渗透现象;以 $\Delta\delta_t$ 为纵坐标、时间t为横坐标的曲线,当多点处的曲线斜率: $\frac{d\Delta\delta t}{dt} > 0$ , $\frac{d\Delta\delta t}{dt}$ 表示同一取样点处两次取样得到的含水率差值随时间的变化率,且随距离呈梯度变化时进行预警,并对该监测钻孔区域空间集中实施“疏水-注浆-监测”三位一体的现有技术手段。

[0043] 无磁钢管4外壁上贴有光纤应变传感器,能对周边岩体的沉降位移进行测量监测,配合岩体内水的空间监测数据进行分析,进而得到更为可靠的应急方案。

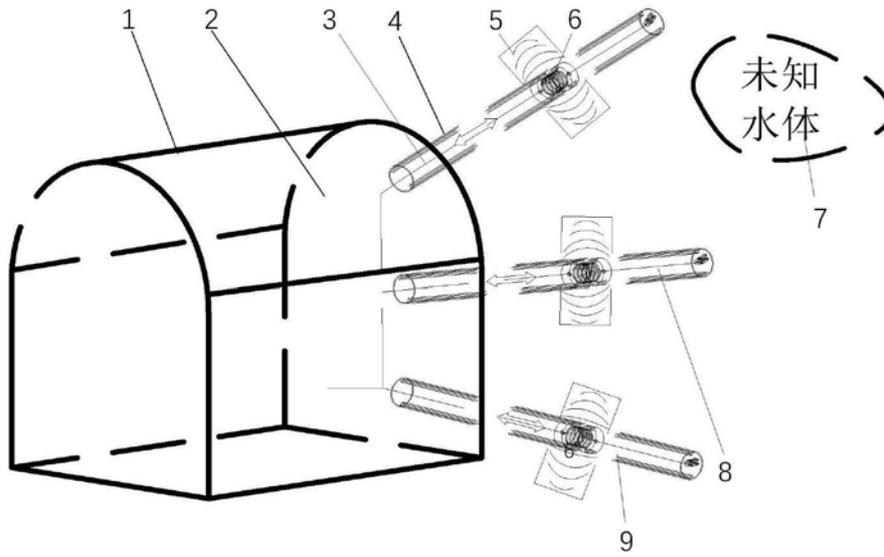


图1

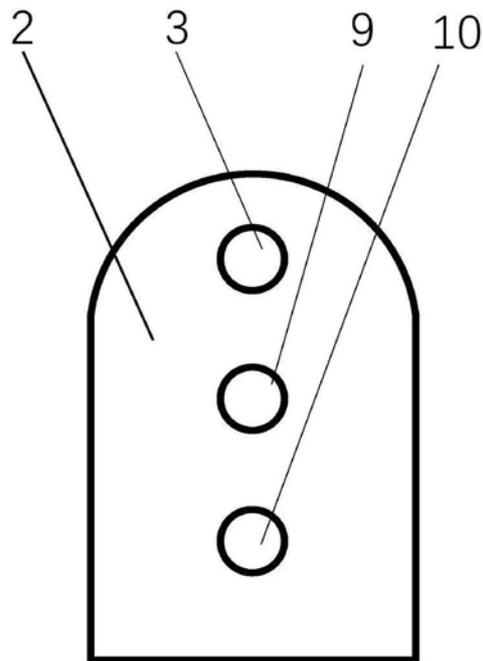


图2

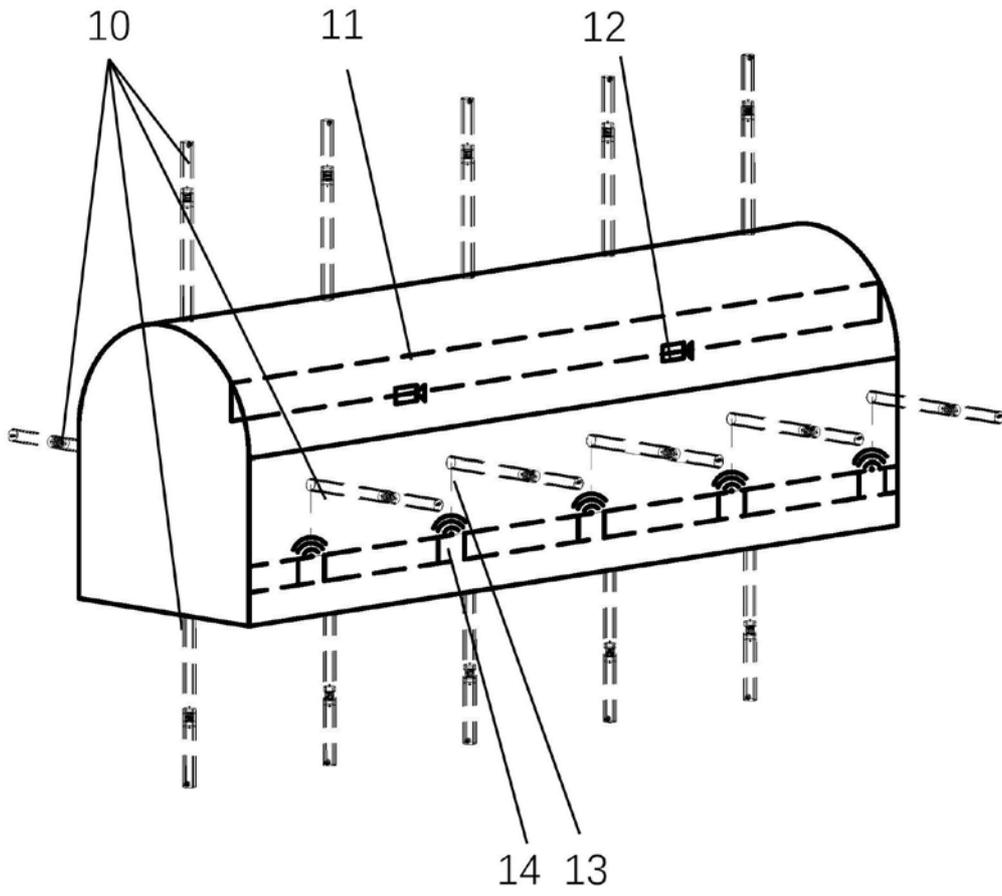


图3

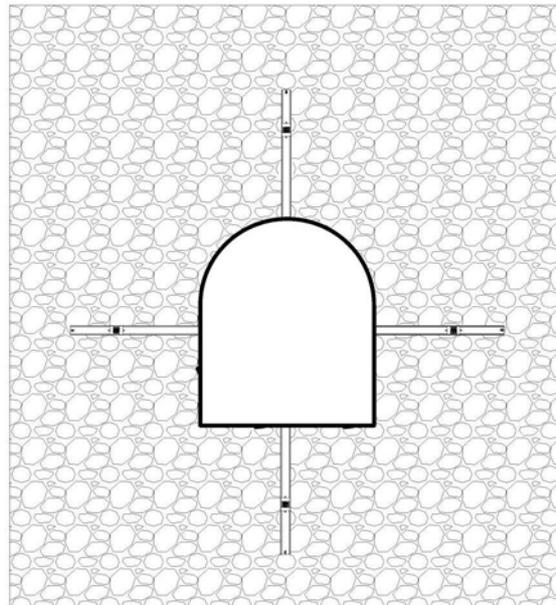


图4

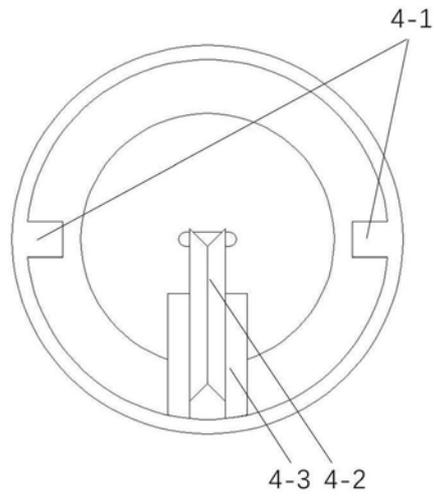


图5

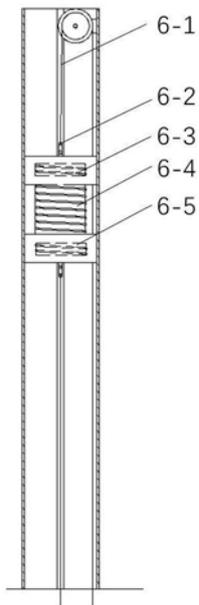


图6